



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 58 197 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:
F 02 C 7/00
F 23 R 3/00

②1 Aktenzeichen: 198 58 197.1
②2 Anmeldetag: 17. 12. 1998
④3 Offenlegungstag: 29. 6. 2000

DE 198 58 197 A 1

⑦1 Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE;
Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH, 85521
Ottobrunn, DE

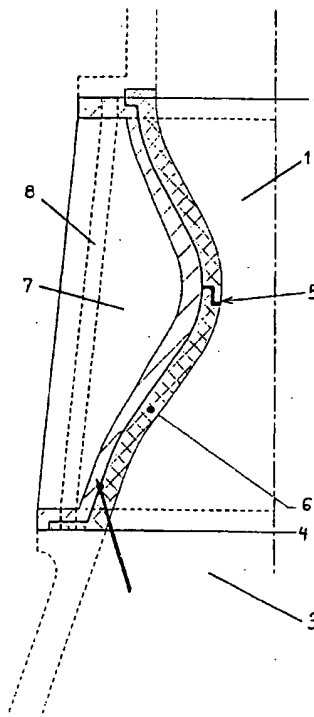
⑦2 Erfinder:
Papenburg, Ulrich, 85658 Egming, DE;
Blenninger, Ernst, 81735 München, DE; Herbig,
Henning, 83607 Holzkirchen, DE; Langel, Günter,
81827 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Triebwerk**

⑤7 Das Triebwerk weist eine Brennkammer und eine Düse aus kohlenstoffaser-verstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) auf, die in eine metallische Tragstruktur integriert sind. Dabei können die C/SiC-Brennkammerauskleidungen und die C/SiC-Düsen durch die mechanische Bearbeitung von C/SiC-Rohlingen aus einem Stück oder durch das Zusammensilicieren von C/SiC-Einzelsegmenten zu einer monolithischen Struktur hergestellt werden. Die Kühlung der Triebwerkskomponenten kann durch das Einbringen von Kühlkanälen in die C/SiC-Struktur und/oder über Isolationswerkstoffe, wie Kohlenstoffaser-Filze oder C/SiC oder Graphitfolie oder deren Kombinationen, erfolgen.



DE 198 58 197 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Triebwerk mit einer Brennkammer, einer Isolierung und einer Düse.

Bei einer bekannten Ausführungsform eines derartigen Triebwerks ist die Brennkammer und die Düse zwischen dem Einspritzkopf und der Entspannungsdüse angeordnet. Dabei sind die Brennkammer und die Düse die thermomechanisch am höchsten belasteten Bauteile des Triebwerks. Während der Einspritzkopf zum Einspritzen der Treibstoffe (z. B. H_2/O_2 oder Kerosin/Salpetersäure-MMH und Oxidator) dient, erfolgt in der Brennkammer mit dem engsten Düsenquerschnitt die Verbrennung der Treibstoffe bei sehr hohen Temperaturen und bei sehr hohen Drucken. Dabei treten bei bestimmten Betriebsbereichen, wie der Zündung und dem Abschalten erhebliche Druckstöße auf, die deutlich über dem normalen Betriebszustand liegen. Hinzu kommt eine hohe Gasgeschwindigkeit im Entspannungsteil der Brennkammer. In der Entspannungsdüse werden die Verbrennungsgase auf den Düsenenddruck des Triebwerks entspannt.

Aufgrund der genannten hohen Temperaturen und der hohen Drucke muss bei der heutigen Auslegung der Brennkammer eine hochhitzebeständige Stahllegierung mit hoher mechanischer Festigkeit und hoher Temperaturbeständigkeit verwendet werden. Diese Stahllegierungen (z. B. die unter der Bezeichnung Inconel bekannte Stahllegierung) weisen jedoch noch den Nachteil auf, dass Sie ab etwa 800°C einen gewissen Festigkeitsverlust erleiden, so dass zusätzlich aktiv gekühlt werden muss. Diese Kühlung erfolgt über entsprechende Kanäle, die in die Brennkammerwand eingefräst werden und anschliessend mittels chemisch aufgetragenen Materials wieder verschlossen werden. Dies bedeutet eine schwierige und kostenintensive Herstellung.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Triebwerk bestehend aus einer Brennkammer, einer Isolierung und einer Düse zu schaffen, das eine hohe Temperatur-, Druck- und Abriebfestigkeit aufweist bei niedriger Dichte, hoher Wärmeleitfähigkeit, niedriger Wärmeausdehnung und nahezu unbegrenzter Geometrie- und Formenvielfalt des dafür verwendeten Materials.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit den im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmalen; vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Erfindungsgemäss bestehen also die Brennkammer, die Isolierung und die Düse aus einem keramischen Material, d. h. einem kohlenstoffaser-verstärktem Siliciumcarbid (C/SiC), die keramisch oder mechanisch, insbesondere mittels einer Siliciumschicht miteinander verbunden sind.

Das heisst, dass Brennkammer, Isolierung und Düse aus ein und demselben Werkstoff bestehen und dergestalt eine monolithische Struktur aufweisen. Insgesamt erhöht sich dadurch die Temperaturbeständigkeit des Triebwerks bei gleichzeitiger Gewichtsreduzierung der Brennkammer und der Düse.

Es wurde gefunden, dass C/SiC über hervorragende Festigkeitseigenschaften bis zu sehr hohen Temperaturen verfügt, die einen Einsatz auch unter schwierigen Bedingungen ermöglichen. Hinzu kommt neben einer geringen Dichte eine hohe Verschleissfestigkeit, eine grosse Oxidationsbeständigkeit sowie neben der ausgezeichneten Temperaturbeständigkeit eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit bei absoluter Gas- und Flüssigkeitsdichtigkeit.

Besonders hervorzuheben ist die grosse Geometrie- und Formenvielfalt, die durch das erfindungsgemässe Material realisierbar ist sowie die hervorragende Temperaturfestigkeit und die hohe bzw. einstellbare Wärmeleitfähigkeit, die

entsprechende niedrige Kühlleistungen ermöglichen. Bei bestimmten Triebwerken kann aufgrund der hohen Temperaturfestigkeit vollständig auf eine Kühlung verzichtet werden.

Man unterscheidet C/SiC mit kontinuierlicher Faserverstärkung sowie kurzfaserverstärktes C/SiC. Das erstgenannte Material, das laminiert, gepresst oder gewickelt werden kann, zeichnet sich durch besonders hohe Festigkeit und besonders niedrige Dichte aus. Zur Erhöhung der Oxidationsbeständigkeit kann das C/SiC mit einer Oberflächenversiegelung versehen sein. Letztere ist bei kurzfaserverstärktem C/SiC überflüssig, da das Material besonders oxidations- und korrosionsbeständig ist. Ferner verfügt es über eine extrem gute Wärmeleitfähigkeit und zeichnet sich durch besonders hohe Thermoschockfestigkeit aus. Es eignet sich vor allen Dingen für eine mechanische Bearbeitung im Rohzustand. Dabei können aus C/SiC-Rohlingen Brennkammer- und Düsenquerschnitte beliebiger Geometrie aus einem Stück oder aber aus verschiedenen Einzelsegmenten zum Auskleiden der Brennkammer und Düse durch mechanische Bearbeitung leicht geformt werden.

Vorteilhafterweise sind die Brennkammersegmente, die Isolierung und die Düse zusammensiliziert, d. h. mittels einer Siliciumschicht miteinander verbunden, um so die gewünschte monolithische Struktur zu erhalten. Diese Konstruktion eignet sich insbesondere für kurzfaserverstärktes C/SiC, wobei die Brennkammersegmente vor dem Zusammensilizieren bzw.

Infiltrieren mechanisch bearbeitet werden. Eine derartige Brennkammer kann ohne weiteres auch mit einem Flansch, vorzugsweise ebenfalls aus C/SiC verbunden werden. Ausserdem können in die Brennkammer und in die Düse durch mechanische Bearbeitung im Rohzustand Kühlkanäle mit runden, rechteckigen oder schlitzförmigen Querschnitten eingearbeitet werden.

In Weiterbildung der Erfindung wird die Innenwand der Brennkammer in geeigneter Weise mit C/SiC-Segmenten ausgekleidet und mittels Kühlung über Kühlkanäle (z. B. durch Treibstoffe, wie z. B. Wasserstoff) und/oder mit einem Isolationsmaterial vorzugsweise aus C/SiC oder aus Kohlenstoffaser-Filzen oder Graphitfolie oder Kombinationen aus diesen Materialien im Hinblick auf eine Reduzierung der Temperatur- und Druckbelastung der metallischen Tragstruktur versehen und zu einer monolithischen Brennkammer oder Düse zusammensiliziert. Die Isolationswerkstoffe können auch unter Zwischenschaltung von Abstandhaltern vorzugsweise aus C/SiC mit der C/SiC-Brennkammer und der C/SiC-Düse miteinander verbunden werden, um die gewünschte monolithische Struktur zu erhalten.

Vorteilhafterweise kann die Dichte und die Porosität des C/SiC-Materials während der Silizierung durch die Zugabemenge an Silicium oder Siliciumcarbid eingestellt werden, so dass z. B. das C/SiC mit hoher Dichte und geringer Porosität als thermomechanische Struktur und/oder Auskleidung und das C/SiC mit niedriger Dichte und hoher Porosität als Wärmeisolierung eingesetzt wird.

Durch diese Isolierung wird entweder über eine Kühlung durch Kühlkanäle oder Kohlenstoffaser-Filz oder Graphitfolie oder eine Kombination daraus die Wärme, die von dem C/SiC-Strukturmaterial der Brennkammer und der Düse ausgeht, gezielt weitergeleitet und dementsprechend von der metallischen Struktur ferngehalten. Dadurch kommt es an der metallischen Tragstruktur zu einer Minimierung der Temperatur- und Druckbelastung sowie zu einer geringeren Verformung des Brennkammermaterials, insbesondere im Düsenquerschnitt. Durch die geringere Belastung kann die metallische Tragstruktur wesentlich vereinfacht werden. Es kommt zu einer wesentlichen Fertigungsvereinfachung, da

die bisher notwendigen und aufwendigen chemischen Materialaufträge zum Verschliessen der eingefrästen Kühlkanäle nicht mehr notwendig sind.

Die Brennkammer aus C/SiC besitzt eine äussere metallische Tragstruktur, die die statischen und dynamischen Fluglasten überträgt und die mechanischen Verbindungen zu dem Einspritzkopf und der Entspannungsdüse bereitstellt. Ausserdem bildet die Tragstruktur die Verbindung der Kühlsysteme zwischen dem Einspritzkopf und der Entspannungsdüse.

Aufgrund der Gas- und Flüssigkeitsdichtigkeit der C/SiC-Materialien können in die metallische Tragstruktur auch offene Kühlkanäle eingearbeitet werden, die beim Einsetzen der C/SiC-Teile geschlossen werden. Die Innenkontur der Brennkammer wird je nach verwendetem System aus C/SiC-Segmenten gefertigt, die anschliessend zu einer monolithischen Struktur zusammensiliziert werden; es ist auch möglich, die Brennkammer einstückig vorzugsweise durch Bearbeitung eines C/SiC-Rohlings herzustellen. Die C/SiC-Teile können ggf. auch mit Kühlkanälen versehen werden, um die Wärme noch besser abzutransportieren. An der Verbindungsfläche von C/SiC-Teilen und metallischer Tragstruktur wird die Isolierung aufgebracht. Der C/SiC-Körper und die Tragstruktur sind mit geeigneten Verbindungselementen miteinander zu verbinden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele im Zusammenhang mit der beigefügten Zeichnung näher erläutert; es zeigen

Fig. 1 schematisch den Aufbau eines herkömmlichen Triebwerks; und

Fig. 2 und 3 schematisch den Aufbau zweier bevorzugter Ausführungsbeispiele von erfindungsgemässen Triebwerken.

In den Figuren, in denen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen sind, bedeutet **1** die Brennkammer des Triebwerks, **2** die Isolierung, **3** die Düse, **4** geeignete Verschraubungen, **7** eine Tragstruktur mit eingearbeiteten Kühlkanälen **8** und **9** einen Einspritzkopf. Bei dem in **Fig. 1** schematisch dargestellten herkömmlichen Triebwerk müssen Werkstoffe mit hoher Temperatur- und Druckbelastung, wie z. B. Inconel verwendet werden, die aufgrund ihrer begrenzten Temperaturfestigkeit gekühlt werden müssen.

Bei dem in **Fig. 2** schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Brennkammer **1** und die Düse **3** mit C/SiC-Segmenten **6** ausgekleidet. Die Innenwände der Brennkammer und der Düse können dabei aus C/SiC-Einzelsegmenten ausgestaltet sein, wobei die äussere metallische Tragstruktur **7** aus einem Stück besteht. Die C/SiC-Segmente sind derart zu gestalten, dass die Teilungsschlitzte, die unter hohem Druck und hoher Temperatur stehenden Gase nicht zur metallischen Tragstruktur durchlassen; da die C/SiC-Segmente die fertige Innenkontur der Brennkammer und der Düse aufweisen, ermöglichen sie eine geometrische Vereinfachung der Tragstruktur.

Bei dem in **Fig. 3** schematisch dargestellten Ausführungsbeispiel ist auch die äussere metallische Tragstruktur **7** unterteilt. Hierbei werden die C/SiC-Innenwände der Brennkammer **1** und der Düse **3** einstückig hergestellt. Dieses einstückige C/SiC-Teil besitzt dabei die fertige Innenkontur der Brennkammer und der Düse. Die äussere Tragstruktur **7** hingegen kann aus zwei oder mehr Einzelteilen gefertigt sein, die dann mit dem einstückigen Innenteil aus C/SiC zusammengesetzt werden. Die äussere Tragstruktur **7** kann aus mehreren Einzelteilen bestehen, die über Schweissnähte **10** verbunden werden. Der Vorteil dieser Anordnung besteht darin, dass die Tragstruktur **7** keinerlei komplizierte Konturen besitzt und dass die C/SiC-Teile keine Trennfugen aufweisen. Dies ist besonders günstig, um die hohen Drucke

und Temperaturen von der metallischen Tragstruktur **7** fernzuhalten.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass bei der Tragstruktur **7** keine Formgebung gemäss dem erforderlichen Strömungsprofil erfolgen muss, so dass diese erhebliche grössere Toleranzen aufweisen kann und demzufolge einfacher zu bearbeitende Materialien für die Tragstruktur verwendet werden können, woraus nicht zuletzt eine erhebliche Gewichtsreduzierung resultiert.

Es ist ferner auch möglich, dass die C/SiC-Einzelsegmente für die Brennkammer und die Düse aus C/SiC-Rohlingen durch mechanische Bearbeitung hergestellt werden und vor dem Einbau in die Tragstruktur zu einer monolithischen Struktur zusammensiliziert werden.

In beiden Fällen kann, falls erforderlich, eine Kühlung wahlweise über das Einarbeiten von Kühlkanälen in die C/SiC-Struktur oder die Isolation mit Kohlenstoff-Filzen oder Graphitfolie oder C/SiC oder Kombinationen aus diesen Materialien erfolgen. Die Kühlung mit Kühlkanälen kann wahlweise, je nach Anforderung, in der Tragstruktur am Übergang Metall zu C/SiC oder im C/SiC-Teil selbst erfolgen. Auch eine Kombination aus den beiden Teilen ist möglich.

Die Isolierung über Isolationswerkstoffe, wie sie mit **2** in **Fig. 2** bezeichnet sind, kann auch mit den Kühlkanälen kombiniert werden, damit in den Wänden keine ungewünschten Temperaturgradienten entstehen. Vorteilhafterweise ermöglicht die Kombination der beiden Isolierungsarten einen besonders optimierten Wärmeverlauf in der Brennkammerstruktur.

Patentansprüche

1. Triebwerk mit einer Brennkammer, einer Isolierung und einer Düse, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Brennkammer (**1**), die Isolierung (**2**) und die Düse (**3**) aus kohlenstofffaser-verstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) bestehen, die keramisch oder mechanisch miteinander verbunden sind.
2. Triebwerk nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Innenwand der Brennkammer (**1**) und der Düse (**3**) mit kohlenstoffaserverstärktem Siliciumcarbid C/SiC (**6**) ausgekleidet sind.
3. Triebwerk nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (**1**), die Isolierung (**2**) und die Düse (**3**) aus mehreren C/SiC-Segmenten aufgebaut sind, die mittels einer Siliciumschicht miteinander verbunden sind.
4. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (**1**), die Isolierung (**2**) und die Düse (**3**) durch maschinelle Bearbeitung eines C/SiC-Rohlings einstückig hergestellt sind.
5. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Brennkammer (**1**), in der Isolierung (**2**) und in der Düse (**3**) durch maschinelle Bearbeitung von C/SiC-Rohlingen ausgebildete Kühlkanäle (**11**) vorgesehen sind.
6. Triebwerk nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlkanäle (**11**) in der Brennkammer (**1**), in der Isolierung (**2**) und in der Düse (**3**) einen runden oder einen rechteckigen oder einen schlitzförmigen Querschnitt aufweisen.
7. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (**1**), die Isolierung (**2**) und die Düse (**3**) aus kohlenstofffaser-verstärktem Siliciumcarbid (C/SiC) in eine metallische Tragstruktur (**7**) eingebaut sind.

8. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (1), die Isolierung (2) und die Düse (3) aus C/SiC unterschiedlicher Dichte und Porosität bestehen.
9. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierung (2) aus C/SiC hoher Porosität besteht. 5
10. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierung (2) aus Graphitfolie besteht. 10
11. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierung (2) aus Kohlenstoff-Filzen/-Vliesen besteht.
12. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Isolierung (2) aus einer Kombination aus C/SiC und/oder Graphitfolie und/oder aus Kohlenstoff-Filzen/-Vliesen besteht. 15
13. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (1) und die Düse (3) unter Zwischenschaltung von Abstandshaltern aus C/SiC mit der Isolierung mittels einer Siliciumschicht verbunden ist. 20
14. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (1) und die Düse (3) bzw. deren Auskleidungen aus C/SiC in Segmentweise aufgebaut sind und mittels einer Siliciumschicht miteinander verbunden sind. 25
15. Triebwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (1) und die Düse (3) einstückig durch mechanische Bearbeitung von C/SiC hergestellt sind. 30

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

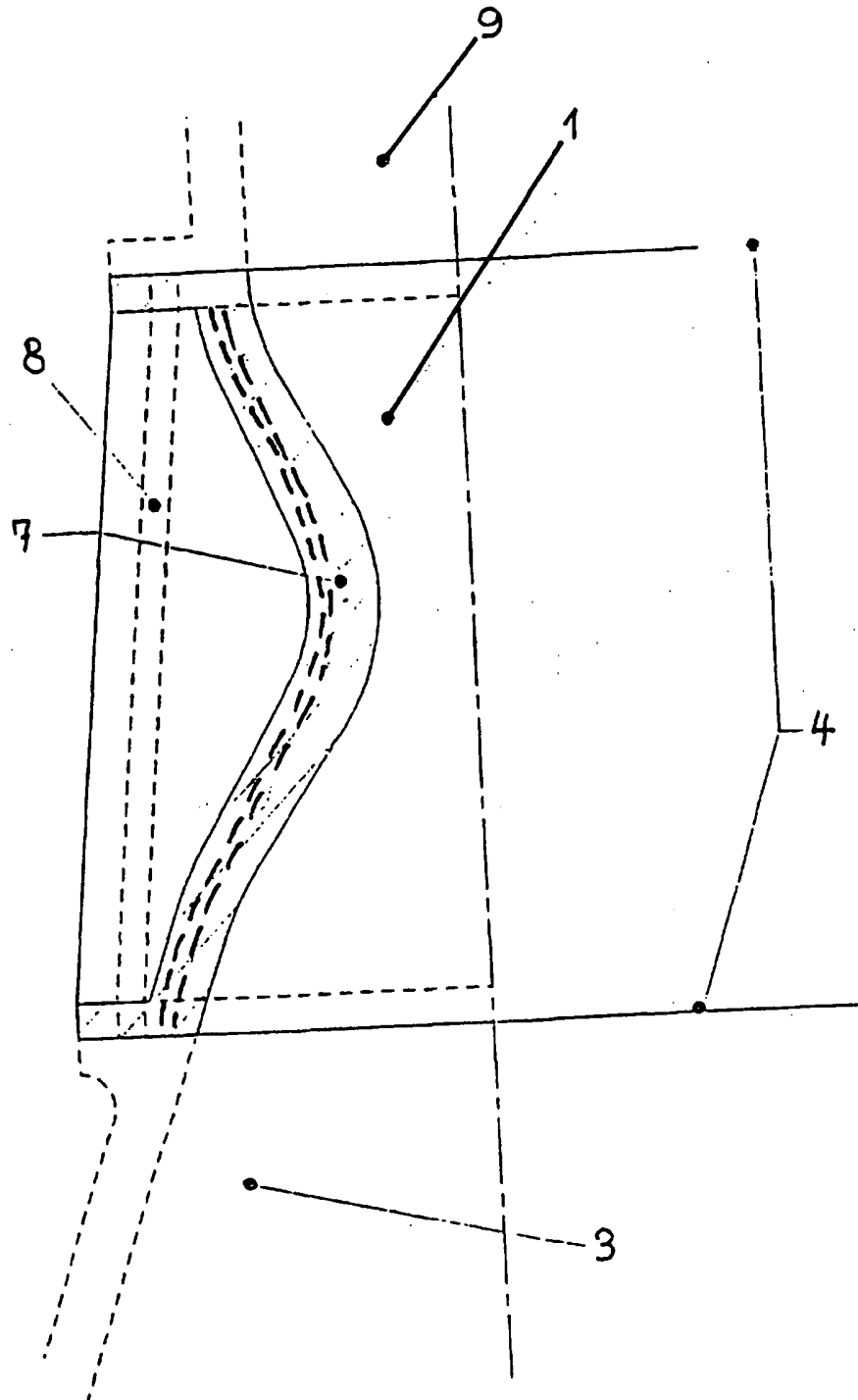


Fig. 1

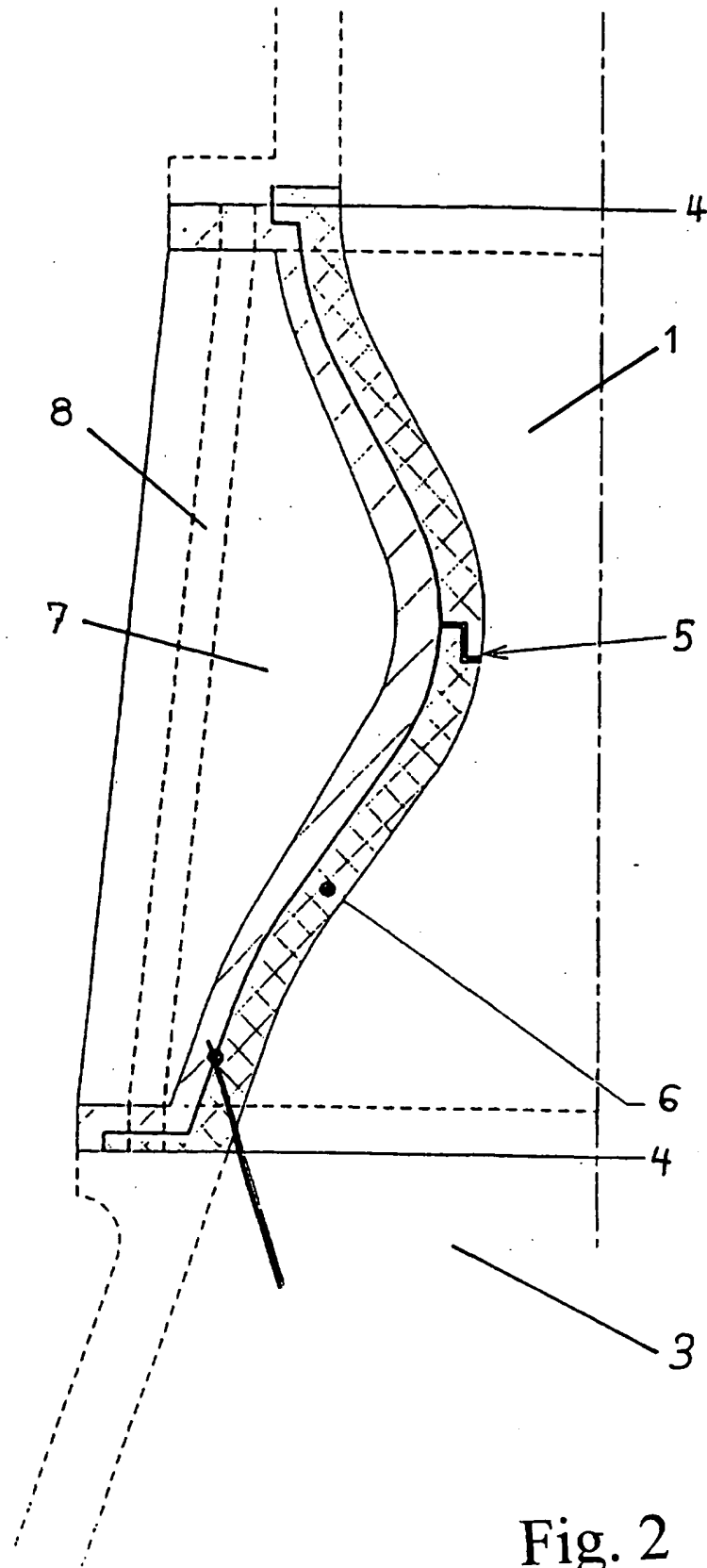


Fig. 2

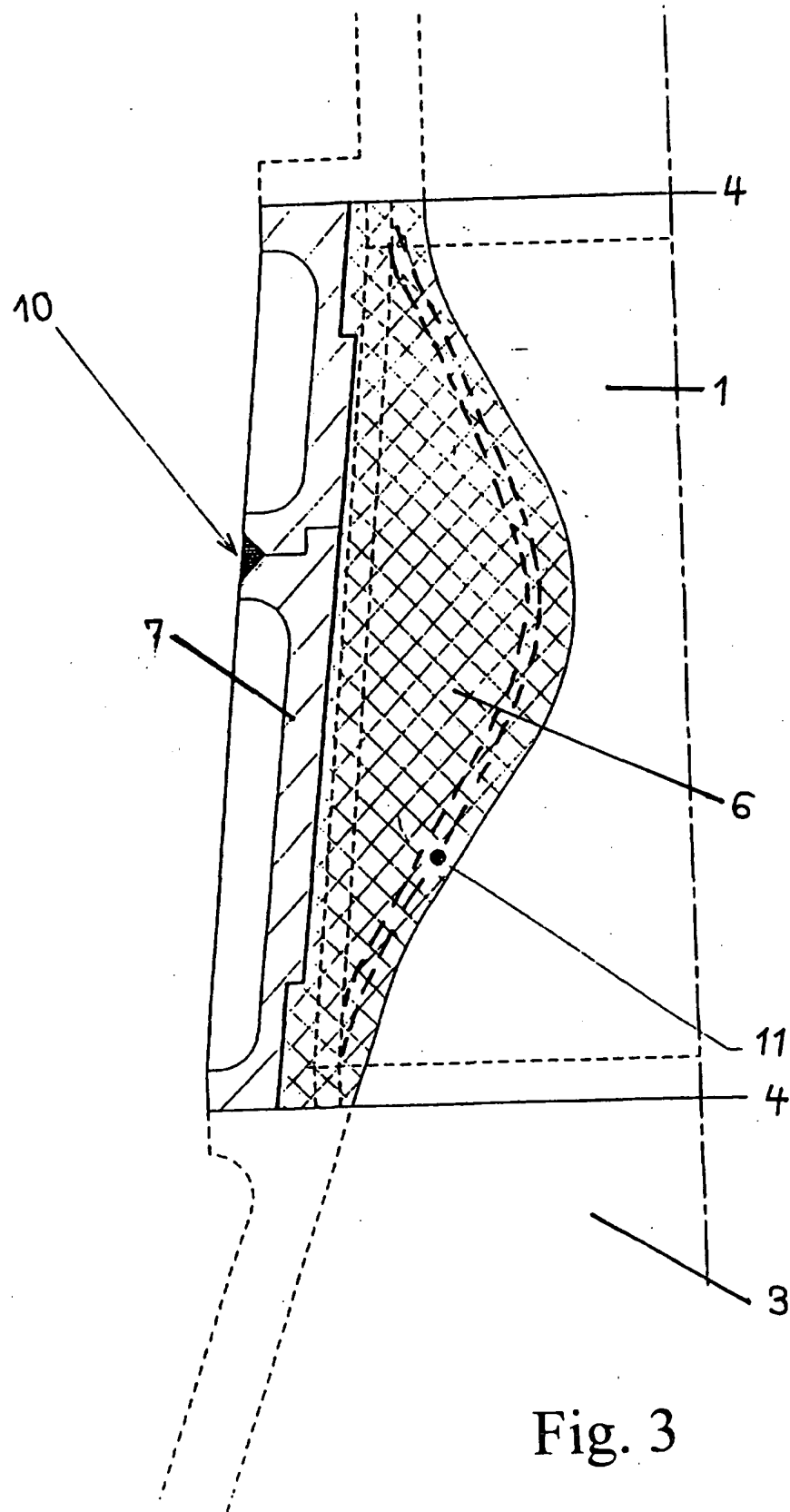


Fig. 3